



REPUBLIQUE MALAGASIE  
Tanindrazana - Fahafahana – Fandrosoana

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE

PROJET DE MISE EN VALEUR ET DE PROTECTION  
DES BASSINS VERSANTS AU LAC ALAOTRA  
(BV ALAOTRA)



Document de travail BV lac n° 32

**Expérimentations agronomiques**  
**Conduites et plans des essais**  
Guide méthodologique pour les antennes  
**TAFA**

Krishna Naudin



Krishna NAUDIN  
Revu par Eric GOZE  
CIRAD-PERSYST/ TAFA/ SCRID  
Octobre 2007

Ce document a pour objectif de donner quelques indications aux chefs d'antenne TAFE sur la mise en place d'expérimentations agronomiques en dehors des matrices. Il n'aborde pas le traitement des données.

## 1. Définitions

### 1.1 Facteurs et traitements

**Facteurs.** Le facteur étudié peut être, par exemple : la variété, le mode de travail du sol, la fertilisation. Un facteur étudié peut être qualitatif ou quantitatif. Il présente différentes modalités ou niveaux.

**Niveaux.** Le terme niveau s'applique plutôt aux facteurs quantitatifs comme des doses d'engrais, de pesticides, ou d'herbicides.

**Modalités.** Le terme modalités s'applique plutôt aux facteurs qualitatifs comme les variétés, la nature des engrais ou de produits phytosanitaires.

Un essai peut porter sur un facteur (exemple : la dose d'engrais), ou sur plusieurs facteurs (ex : la variété et la dose d'engrais). Quand il y a un seul facteur, ce sont les différents niveaux ou modalités du facteur qui sont comparés.

*Par exemple :*

- *on teste le facteur fertilisation avec 3 niveaux (F0 pas d'engrais, F1 100 kg/ha d'urée, F2 200 kg/ha d'urée)*
- *on teste le facteur traitement de semence avec 3 modalités (pas de traitement, traitement au gauchio, traitement au thirame)*

Quand il y a plusieurs facteurs combinés, on compare plusieurs objets qui sont des combinaisons de niveaux de facteurs. Les objets sont parfois appelés traitements, mais cela peut prêter à confusion avec les produits de traitement.

*Par exemple :*

- *si on applique trois doses d'engrais sur quatre variétés de riz, il y a au final 12 traitements*

Un traitement est la combinaison d'une variété et d'une dose d'engrais. (ex variété fofifa 154 et dose d'engrais 100 kg/ha). On peut choisir de comparer toutes les combinaisons possibles entre niveaux de facteur. Avec 3 doses d'engrais et 4 variétés par exemple, nous aurons 12 traitements en tout. On dit alors que l'essai est factoriel. On peut aussi choisir d'affecter à chaque variété la dose d'engrais qui convient le mieux à sa physiologie, dose faible pour les variétés rustiques, dose élevée pour les variétés à haut potentiel. Plus généralement on peut comparer des systèmes de cultures qui sont des combinaisons bien choisies de facteurs de production. Alors on n'aura pas un essai factoriel, mais un essai complexe.

## 2. Dispositifs

### 2.1 Dispositifs en randomisation totale

Le dispositif permet de comparer x traitements comportant un même nombre ou non de répétitions. Les parcelles sont distribuées totalement au hasard sur le terrain. Par exemple, pour la comparaison de quatre objets répétés 3 fois, on peut aboutir à la disposition suivante :

T3 : 200 kg/ha d'urée	T1 : 0 kg/ha d'urée	T4 : 400 kg/ha d'urée	T2 : 50 kg/ha d'urée
T4 : 400 kg/ha d'urée	T3 : 200 kg/ha d'urée	T2 : 50 kg/ha d'urée	T1 : 0 kg/ha d'urée
T2 : 50 kg/ha d'urée	T1 : 0 kg/ha d'urée	T4 : 400 kg/ha d'urée	T3 : 200 kg/ha d'urée

Exemple de disposition en randomisation totale pour quatre traitements répétés 3 fois. Les traitements sont affectés aux parcelles par tirage au hasard. Un tirage au hasard ne s'effectue pas « au petit bonheur », mais suivant une procédure bien définie et documentée. Par exemple, l'utilisation de tables de permutations de nombres au hasard, ou l'utilisation d'un ordinateur; un même traitement peut se trouver appliqué sur des parcelles côte à côte. Lorsque cela se produit, il faut s'interdire d'opérer des permutations mais il faut procéder à un nouveau tirage pour l'ensemble des traitements. **L'utilisation du dispositif n'est envisageable qu'en terrain très homogène.**

## 2.2 Dispositif en blocs aléatoires complets (ou blocs de Fisher)

Le dispositif comporte plusieurs ensembles ou blocs de parcelles où tous les traitements figurent une fois et une seule. Au sein d'un bloc, supposé homogène, les différents traitements sont affectés au hasard. L'intérieur d'un bloc est le plus homogène possible. En revanche, au sein d'un même terrain, les blocs sont les plus différents possibles les uns des autres. Il est cependant souhaitable d'éviter des différences trop importantes, sources possibles d'interaction entre blocs et traitement. Le dispositif en bloc peut donc compenser des différences connues à l'avance, du moment qu'elles ne sont pas trop importantes.

Aucune raison théorique n'impose de placer les blocs les uns à côté des autres. On peut les disposer dans les zones les plus homogènes de la parcelle d'expérimentation. Lorsqu'un gradient de fertilité est connu ou supposé dans une direction donnée, ils faut disposer les parcelles de façon que leur grande dimension soit selon le sens de cette variation<sup>1</sup>. En dehors de ce cas il faut chercher à donner aux blocs une forme s'approchant d'un carré afin de réduire au maximum les différences entre parcelles extrêmes.

Afin de réduire les risques d'hétérogénéité, il n'est pas souhaitable d'avoir un trop grand nombre de traitements : 8 à 9 sont possibles, 12 est un maximum (selon leur surface).

---

<sup>1</sup> En fait il existe une autre possibilité pour des comparaisons de variétés par exemple. Voir document en annexe « Les essais de céréales. Remarques sur leur réalisation pratique » J. Tranchefort

Exemple de répartition de 6 traitements dans 3 blocs :

Bloc n°1

T6	T5	T1	T3	T2	T4
----	----	----	----	----	----

Bloc n°2

T1	T2	T6	T3	T4	T5
----	----	----	----	----	----

Bloc n°3

T1	T4	T2	T3	T6	T5
----	----	----	----	----	----

### Dispositif en carré latin

Les parcelles sont disposées en lignes et en colonnes où chaque traitement figure une fois et une seule. Le nombre de répétitions est donc imposé, il est égal au nombre de traitements. Ce dispositif est recommandé au champ lorsqu'une variation de fertilité est présumée dans deux directions approximativement perpendiculaires, ou encore pour un gradient oblique que l'on n'arrive pas à contrôler avec des blocs. Le nombre de répétitions étant égal au nombre de traitements, le dispositif convient très bien pour 5 à 8 traitements.

← Mise en forme : Puces et numéros

1<sup>ère</sup> étape : choix d'un carré latin de base (Voir en annexe):

1	2	3	4	5
2	1	5	3	4
3	5	4	1	2
4	3	2	5	1
5	4	1	2	3

On tire au sort les correspondances entre parcelles et traitement : supposons le résultat suivant : A=3, B=4, C=1, D=2, E=5

C	D	A	B	E
D	C	E	A	B
A	E	B	C	D
B	A	D	E	C
E	B	C	D	A

2<sup>ème</sup> étape : permutation des lignes par tirage au sort

Les lignes sont numérotées de 1 à 5 et leur ordre est ensuite tiré au sort (par exemple 3,1,4,5,2). Suite à ce tirage un nouveau carré latin est obtenu.

A	E	B	C	D
C	D	A	B	E
B	A	D	E	C
E	B	C	D	A
D	C	E	A	B

3<sup>ème</sup> étape : permutation des colonnes

Les colonnes du carré précédent sont numérotées de 1 à 5 : l'ordre définitif des colonnes est tiré au sort (par exemple 3, 2, 5, 4, 1). Le nouveau carré latin obtenu est le plan recherché.

B	E	D	C	A
A	D	E	B	C

D	A	C	E	B
C	B	A	D	E
E	C	B	A	D

### 2.3 Dispositif avec parcelle subdivisée

Un essai factoriel est un essai où l'on veut comparer les interactions entre deux facteurs. Par exemple si l'on veut tester 3 fertilisations sur 4 variétés de riz, l'essai factoriel aura 12 traitements comme répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Inventaire des 12 traitements :

F0Var1
F1Var1
F2Var1
F0Var2
F1Var2
F2Var2
F0Var3
F1Var3
F2Var3
F0Var4
F1Var4
F2Var4

On peut répartir les répétitions de ces 12 traitements de manière aléatoire sur l'ensemble du dispositif ou dans un dispositif en bloc. Mais pour des raisons pratiques, on cherche souvent à regrouper au moins un des deux facteurs sur des parcelles côte à côte. Par exemple :

- on sème de grandes bandes de chaque variété puis on les subdivise en différentes fumures, ou on fertilise de grandes bandes que l'on subdivise avec différentes variétés. Il s'agit alors de dispositif en **split plot**, voir ci-dessous
- on sème de grandes bandes de variété que l'on croise avec des bandes de fertilisation. Il s'agit alors d'un dispositif en **criss cross**, voir ci-dessous
- 

#### 2.3.1. Dispositif en split-plot

Il s'agit au départ d'un dispositif classique de bloc de Fischer où l'on répartit un des facteurs (la variété par exemple) de manière aléatoire dans chaque bloc. Puis chacune des parcelles est redivisée avec l'autre facteur (la fertilisation par exemple), toujours de manière aléatoire.

Par exemple si l'on veut tester 3 fertilisations sur 4 variétés de riz avec 6 répétitions l'essai factoriel aura 12 traitements.

2 plans peuvent être proposés :

*Le facteur principal<sup>2</sup> sera la variété et le facteur secondaire la fumure*

Exemple du plan d'un bloc (mais il faut plusieurs blocs en fonction de l'hétérogénéité du terrain).

On commence par semer les variétés en grandes parcelles, comme pour un bloc aléatoire complet. En répartissant de manière aléatoire les 4 variétés dans chacun des 6 blocs. Ensuite

---

<sup>2</sup> Le facteur principal sera celui qui sera connu avec le moins de précision car ses effets sont en partie confondus avec l'hétérogénéité du terrain.

chacune de ces parcelles sera subdivisée en 3 niveaux de fertilisation. Au total il y aura 4 (variétés) X 3(fumures) X 6 (blocs) = 72 parcelles élémentaires.

Var2 F0	Var2 F2	Var2 F1	Var4 F1	Var4 F0	Var4 F2	Var3 F1	Var3 F0	Var3 F2	Var1 F2	Var1 F1	Var1 F0
Sous bloc Var2			Sous-bloc Var4			Sous-bloc Var3			Sous-bloc Var1		

A répéter 6 fois, si on veut 6 répétitions, en changeant pour chaque bloc l'ordre des variétés et l'ordre des fumures. L'ordre des variétés et des fumures doit être décidé de manière aléatoire.

*Le facteur principal sera la fumure et le facteur secondaire la variété*

F2 Var1	F2 Var3	F2 Var4	F2 Var2	F0 Var4	F0 Var1	F0 Var2	F0 Var3	F1 Var3	F1 Var2	F1 Var1	F1 Var4
Sous-bloc F2				Sous-bloc F0				Sous-bloc F1			

A répéter 6 fois, si on veut 6 répétitions, en changeant pour chaque bloc l'ordre des variétés et l'ordre des fumures. L'ordre des variétés et des fumures doit être décidé de manière aléatoire.

Si les parcelles d'un dispositif en blocs aléatoires complets ou d'un carré latin ont une surface suffisante, il est possible en cours d'expérience de les recouper pour former un split plot .

### 2.3.2. Dispositif en criss-cross

Dans certains essais à deux facteurs présentant plusieurs variantes, la disposition aléatoire des traitements présenterait de très grandes difficultés d'exécution. Dans ce cas à l'intérieur de chaque bloc, on applique les variantes à des bandes perpendiculaires selon un tirage aléatoire.

Plan d'un bloc d'un criss-cross (mais là aussi il faut faire plusieurs blocs pour avoir des répétitions). Attention de bien randomiser indépendamment dans chaque bloc, et non pas d'aligner les bandes.

F2 Var4	F2 Var3	F2 Var1	F2 Var2
F0 Var4	F0 Var3	F0 Var1	F0 Var2
F1 Var4	F1 Var3	F1 Var1	F1 Var2

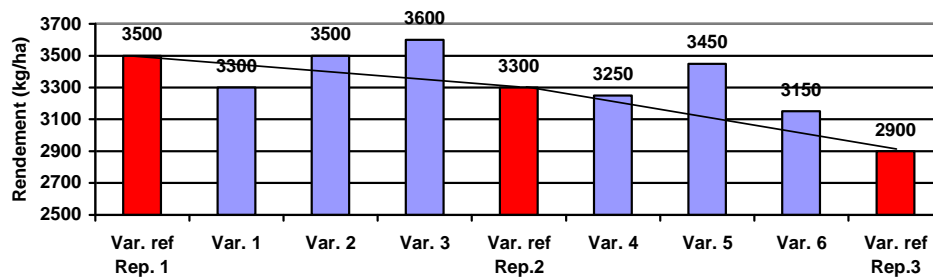
Ce dispositif permet dans chaque bloc d'apporter les fertilisations et de semer les variétés par « bandes » ce qui évite les risques d'erreurs, des manœuvres lors du semis ou des techniciens lors des observations. Mais le résultat sera moins précis qu'avec un dispositif split-plot, et encore moins qu'avec un factoriel en blocs.

## 2.4 Dispositif de collection testée

Var. ref. Rep.1	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5	Var. ref. Rep.2	Var 6	Var 7	Var 8	Var 9	Var 10	Var. ref. Rep.3
-----------------------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------------------

Dans ce cas une variété de référence est répétée régulièrement. Le rendement de cette variété permet de quantifier l'hétérogénéité du terrain pour la compenser. Ce dispositif ne peut être utilisé que si on connaît à l'avance l'effet de la variabilité du milieu sur le rendement de la culture, si cet effet est régulier entre le début et la fin de la parcelle. C'est à dire par exemple s'il y a une légère pente de la parcelle qui affecte la hauteur mais pas de trou au milieu où l'eau stagne.

Selon les statisticiens le nombre de variétés testées entre chaque témoin doit être de 2 à 4 en fonction de l'hétérogénéité du terrain.



Sur le graphique on place les variétés testées et les témoins dans le même ordre que sur le terrain. Les rendements de la variété témoin sont reliés par une « ligne de niveau ».

Le rendement de chaque variété n'est pas comparé directement à celui des variétés à côté ou des témoins les plus proches mais au rendement supposé du témoin s'il était au même endroit. Comment le chiffrer ? :

La variété v est en position x sur le graphique. Elle est encadrée par deux répétitions du témoin, en positions a et b, qui ont donné des rendements Ta et Tb. Le rendement théorique du témoin à la position x est

$$Tx = Ta + (Tb-Ta) (x-a)/(b-a)$$

Exemple : la variété 3 est en position 4, encadrée par deux témoins en position 1 et 5. Ces témoins ont donné respectivement 3500 et 3300 kg/ha. Le rendement théorique du témoin en position 4 est

$$\begin{aligned} T4 &= 3500 + (3300-3500) (4-1)/(5-1) \\ &= 3500 + (-200) 3/4 \\ &= 3500 - 150 \\ &= 3350 \end{aligned}$$

Le rendement de la variété 3 (3600 kg/ha) doit donc être comparé à 3350 kg/ha et non pas à 3500 kg/ha ni à 3300 kg/ha. Cette comparaison est plus facile à faire directement sur le graphique.

### 3. Combien de répétitions ?

Pour mener une analyse statistique sur des résultats il faut avoir un nombre de répétitions qui sera d'autant plus important que :

- La variabilité du milieu est importante (coefficient de variation)
- Le matériel végétal est hétérogène (mélange de variétés)
- Les différences à mettre en évidence entre les traitements sont faibles
- On veut réduire le risque de conclure à une différence entre les traitements alors qu'il n'y en a pas
- On veut réduire le risque de ne pas conclure à une différence entre les traitements alors qu'il y en a une
- Les opérations culturales risquent de ne pas être menées rigoureusement (étalement des dates de semis et de sarclage sur plusieurs jours, épandage de l'engrais inégal,...)
- Des répétitions seront inutilisables pour cause de vol, inondation, données perdues,...

Le tableau ci-dessous donne le nombre de répétitions à mettre en place pour un dispositif en blocs aléatoires complets avec 2 traitements, avec un risque de conclure à une différence entre les traitements alors qu'il n'y en a pas de 5 % et un risque de ne pas mettre en évidence de différence alors qu'il y en a une de 20 %.

Différence	5 %	10 %	20 %
Coefficient de variation			
5 %	14	7	3
10 %	48	14	7
15 %	96	28	10

Source Cauquil *et al* 1989.

Par exemple, si on veut comparer 2 variétés de riz pour lesquelles on s'attend à des différences de rendement de 20 % par rapport à la moyenne. C'est-à-dire, moyenne des 2 variétés = 4 000 kg/ha, Var 1 = 3 200 kg/ha, Var 2 = 4 800 kg/ha. Si le coefficient de variation des rendements sur ce terrain est de 10 %<sup>3</sup> alors il faudra au moins 7 répétitions pour mettre en évidence la différence de rendement de manière significative.

Le nombre de répétitions devra bien sûr être plus important si le terrain est hétérogène et si on s'attend à des différences de rendement plus faibles en variétés.

Le nombre de répétitions mis en place dans les essais est parfois trop faible pour tirer des conclusions statistiquement argumentées mais il est tout de même préférable de faire 2,3,4 répétitions qu'une seule, sans quoi on n'est jamais certain que le phénomène observé est bien dû au traitement et pas au sol ou à un autre facteur.

#### 4. Conduite des essais

##### 4.1 Essai variétal

Dispositif de base quand on a beaucoup de variétés à comparer : collection testée ou blocs (cf annexe 1)

##### 4.2 Essai de traitements de semence et produits phytosanitaires<sup>4</sup>

Dans le cas du riz les parcelles doivent au minimum faire 5\*5 m et la partie observée fera au maximum 4\*4 m.

Si les parcelles sont petites, et les traitements sont nombreux et "efficaces", le témoin non traité peut être un mauvais témoin, car non attaqué vu qu'il se trouve au milieu d'un bloc globalement protégé. Ce problème peut parfois être résolu en faisant des parcelles les plus grandes possibles. Toutefois, si les ravageurs arrivent sur ou sous le sol ils pourront être en grande partie détruits dans les parcelles traitées entourant le témoin non traité. Dans ce cas le potentiel d'attaque est sous estimé.

Pour éviter les débordements des traitements d'une parcelle sur l'autre, des parcelles de forme compacte, carrée, sont préférables à des parcelles rectangulaires "en longueur". Encore que ce ne soit pas toujours le cas s'il y a un vent dominant. En pratique, les comparaisons de traitements appliqués en ULV sont infaisables sur des parcelles de taille raisonnable.

<sup>3</sup> Ce qui est déjà faible, c'est la valeur obtenue sur les rendements en riz de l'essai « herbicide contre cyperus » sur baiboho à Marololo en 2007.

<sup>4</sup> Merci à A. Ratnadass pour ses conseils



Evidemment il est souvent préférable d'avoir les parcelles les plus grandes <sup>5</sup>possibles, mais pour les essais de traitements de semences, on peut se contenter de parcelles assez petites par rapport à ce biais. Dans le cas des *Heteronychus* qui volent peu et se déplacent surtout sur le sol, les contraintes "taille de parcelle" sont moins fortes que pour les insectes volants (à plus forte raison pour les "vrais vers blancs").

Quand on étudie plusieurs facteurs dont un traitement insecticide, les dispositifs "Blocs de Fisher" et Factoriel (encore moins randomisation totale) ne sont pas forcément les plus indiqués, par rapport à un Split-Plot où le facteur en bloc est le traitement. Mais ça n'est pas toujours applicable dans le cas de comparaison de système, où ce sont plutôt les systèmes, ou en tout cas la gestion du sol (SCV et labour) qui sont plutôt les facteurs en bloc.

S'il y a un seul facteur, la randomisation totale n'est pas moins bonne que le bloc de Fisher, bien au contraire : un traitement a plus de chances de se retrouver à côté de lui-même, ce qui augmente l'effet de masse et diminue le biais du débordement des traitements d'une parcelle sur l'autre

#### 4.3 Démarche expérimentale pour la mise au point d'un traitement herbicide<sup>6</sup>

Le choix des produits à mettre en expérimentation est effectué d'après les propositions des firmes phytosanitaires, mais aussi en fonction des informations recueillies sur le terrain, afin de déterminer les contraintes majeures d'enherbement.

La démarche expérimentale pour la mise au point des traitements herbicides repose sur deux types d'essais successifs :

- **essais d'efficacité**, pour déterminer l'activité des produits sur les mauvaises herbes, ainsi que la dose et l'époque d'application optimales,
- **essais de sélectivité**, pour estimer les risques de phytotoxicité du traitement sur la culture ; les essais d'arrière-effet complètent ceux de sélectivité en estimant les risques de phytotoxicité du traitement herbicide pour la culture suivante.

Ensuite, les essais de valeur pratique et les tests en milieu réel permettent de confirmer l'intérêt d'herbicides retenus au cours des phases précédentes.

Pour tous ces essais, la culture est conduite selon les normes habituelles de préparation du sol, de fumure, de choix de variétés, de plantation et des traitements phytosanitaires autres que ceux destinés à la lutte contre les mauvaises herbes.

##### 4.3.1. L'essai d'efficacité.

Cet essai a pour but d'étudier le comportement des mauvaises herbes, après un traitement avec un produit chimique. Ce test des différents produits, proposés par les firmes phytosanitaires, vise, en fonction des conditions agro-écologiques du milieu, à :

- comparer leur efficacité à maîtriser l'enherbement,
- déterminer leur spectre d'efficacité et les espèces résistantes,
- établir la durée de leur rémanence,
- évaluer les symptômes visibles de phytotoxicité.

L'implantation se fait sur une parcelle ayant un fort potentiel d'enherbement (pluri- ou monospécifique), avec une répartition homogène de la flore des mauvaises herbes. La méthode du témoin adjacent est utilisée, afin que chaque parcelle traitée soit bordée d'une parcelle témoin non traitée. Pour chaque implantation, trois répétitions sont suffisantes et il y

<sup>5</sup> quoi que dans certain cas on a intérêt à avoir des parcelles plus petites et plus homogènes et où les opérations de comptage des insectes, par exemple, sont plus rapides.

<sup>6</sup> Marnotte P. CIRAD-AMAP 2000

a nécessité à multiplier cet essai sur des emplacements différents, afin d'obtenir une diversité floristique importante et de faire varier les conditions pédo-climatiques.

Aucun sarclage n'est pratiqué sur cet essai d'efficacité, hormis pour l'entretien des allées et des bordures. Il se poursuit jusqu'à ce que toutes les parcelles traitées soient entièrement envahies par les mauvaises herbes et il n'est pas récolté.

Les observations consistent en

- des notations visuelles régulières, pour évaluer l'efficacité des traitements par rapport au témoin adjacent sur l'enherbement global et sur la flore dominante de l'essai ;
- des notations des signes visibles de phytotoxicité.

#### 4.3.2. L'essai de sélectivité

Cet essai de sélectivité vise à évaluer les risques de phytotoxicité des produits herbicides pour la culture. Les produits testés sont ceux qui se sont révélés efficaces lors des précédents essais d'efficacité.

Un dispositif en blocs de Fisher à six répétitions est utilisé. En principe, pour chacun des produits testés, trois doses (simple, double et triple) sont testées : D, 2xD et 3xD. D est la dose déterminée comme efficace d'après la série des essais d'efficacité précédents. Un témoin sert de traitement de référence pour établir les comparaisons.

Cet essai de sélectivité est conduit jusqu'à la récolte. Toutes les parcelles doivent être parfaitement désherbées, afin qu'il n'y ait aucun effet de nuisibilité des mauvaises herbes sur la culture, notamment sur le témoin non traité.

Les observations suivantes sont effectuées

- à la levée de la culture : comptage du nombre de pieds levés et de pieds présentant des signes de phytotoxicité.
- en cours de culture : estimation des facteurs de croissance et notation visuelle de phytotoxicité des traitements par rapport au témoin de référence.
- à la récolte : mesure de la production et des composantes du rendement.
- 

#### 4.3.3. L'essai d'arrière-effet.

Cet essai d'arrière-effet vise à évaluer les risques de phytotoxicité des produits herbicides pour la culture suivante.

L'implantation se fait, au cycle suivant, sur les dispositifs mis en place pour les essais de sélectivité. Le dispositif en blocs de Fisher à six répétitions des essais de sélectivité est repris strictement. Les parcelles correspondent aux traitements de l'essai de sélectivité précédent. Pour cette culture, il n'y a pas d'application différenciée d'herbicide. L'ensemble de l'essai est réalisé de façon homogène ; notamment, pour toutes les parcelles, les techniques de maîtrise des mauvaises herbes doivent être les mêmes.

Cet essai d'arrière-effet est conduit jusqu'à la récolte. Toutes les parcelles doivent être parfaitement désherbées, afin qu'il n'y ait aucun effet de nuisibilité des mauvaises herbes sur la culture, notamment sur le témoin non traité.

Les observations sont les mêmes que pour l'essai de sélectivité.

#### 4.3.4. L'essai de valeur pratique ou d'itinéraire technique.

Cet essai, qui ne vient qu'à la suite des tests d'efficacité et de sélectivité, permet d'apprécier la valeur globale d'un produit herbicide dans les conditions pratiques d'utilisation, en mettant l'accent sur l'aspect économique.

Un dispositif en blocs de Fisher peut être utilisé. Un nombre limité d'objets est retenu : comparaison d'un ou deux modes d'entretien par rapport à la technique normalement pratiquée. Cet essai est conduit jusqu'à la récolte. Chacun des objets peut subir des interventions différentes, adaptées à ses besoins particuliers. Les observations portent sur le développement des mauvaises herbes, sur les diverses interventions, notamment les sarclages complémentaires et sur la production à la récolte.

#### 4.3.5. Le test en milieu réel.

Le test de traitements herbicides en milieu réel constitue une phase indispensable avant l'utilisation d'un produit ; il permet de juger, en vraie grandeur, des avantages et des contraintes d'une nouvelle formulation.

Afin de disposer d'éléments de comparaison, il est intéressant d'intercaler :

- des bandes témoins non traitées pour vérifier le potentiel d'enherbement de la parcelle (importance et principales espèces de mauvaises herbes),
- des bandes traitées avec un produit de référence, pour estimer la différence de comportement entre les deux techniques.

Ce test en milieu réel est implanté avec l'appareillage normalement utilisé par l'agriculteur.

Un suivi régulier de l'enherbement et de la culture est effectué.

### 5. Bibliographie :

- Cauquil J., Couilloud R., Girardot B., Goze E., Jouve G., Vaissayre M. 1989. Méthodologie de l'expérimentation phytosanitaire en culture cotonnière. Document IRCT, Montpellier, 63 p.
- Dagnelie P. 2003. *Principes d'expérimentation: planification des expériences et analyse de leurs résultats*. Edition électronique, [www.dagnelie.be](http://www.dagnelie.be) , 397 p.
- Dagnelie P. 2001. *Principes d'expérimentation: photographies*. Edition électronique, [www.dagnelie.be](http://www.dagnelie.be) , 20 p.
- Marnotte P.I. 2000. Démarche expérimentale pour la mise au point d'un traitement herbicide. Document CIRAD-AMAP
- Merlier H. 1980 **Essais herbicides de pré vulgarisation : données générales** <http://www.documentation.ird.fr/fdi/notice.php?ninv=fdi:15720>
- Tranchefort J. 1977. Les essais de céréales : remarques sur leur réalisation pratique. Perspectives agricoles. Décembre 1977. 4 p.
- Vilain M. 1999. Méthodes expérimentales en agronomie. Technique et analyse. Ed. Technique & documentation. 337 p.
- Weil J. 1986. Mission de formation (ISNAR) en méthodologie de l'expérimentation auprès de l'institut des sciences agronomiques du Rwanda. 21 janvier-4 février 1986. Document IRAT, méthodologie/86/n°1, mars 1986.

# ANNEXES

## **Annexe 1 : note sur la disposition d'essais comparatif de variétés**

Perspectives agricoles, J. Tranchefort, 1977

## LES ESSAIS DE CÉRÉALES

### remarques sur leur réalisation pratique

JEAN TRANCHEFORT  
Ingénieur-Statisticien à l'I.T.C.F.

La réalisation en plein champ, d'un essai comparatif de variétés de céréales ne semble pas présenter de grandes difficultés. Ce n'est qu'une apparence. L'expérimentateur doit prendre beaucoup de précautions et travailler avec soin. Les sources d'erreur peuvent être nombreuses ; nous en présentons ici quelques unes, parmi les plus fréquentes : effets des bordures, lignes de semis manquantes, relations entre parcelles contigües... Les incidences relatives de ces anomalies sont délicates à évaluer, car les données chiffrées sur lesquelles nous appuyons nos affirmations sont fragmentaires et devront être confirmées. Il semble pourtant qu'à l'avenir, certaines techniques expérimentales seront à modifier pour éviter des biais trop importants dans les comparaisons des rendements des variétés.

Lorsqu'il met en place un essai planifié en plein champ, le chercheur doit à priori que :

1) quelle que soit la surface de la parcelle (10 m<sup>2</sup> ou 100 m<sup>2</sup>) sur laquelle un traitement sera expérimenté, son résultat pourra être exprimé en unités-types (en quintaux/hectare pour un rendement de céréale, par exemple). Cette condition est nécessaire pour l'extrapolation ultérieure des conclusions de l'essai,

2) l'influence du sol (fertilité, exposition) s'ajoutera à l'effet du traitement, mais un dispositif approprié (constitution de blocs convenablement orientés, par exemple) permettra de neutraliser,

3) la variance du résultat d'une parcelle sera indépendante du traitement et du sol. On appelle cette condition "équiprobabilité",

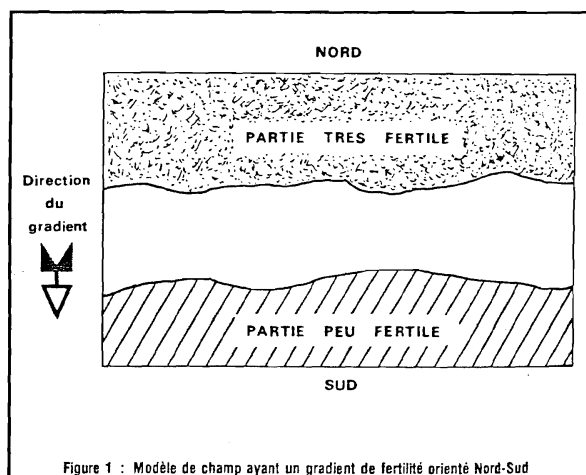
4) les observations faites sur des parcelles contigües ne seront pas corrélées,

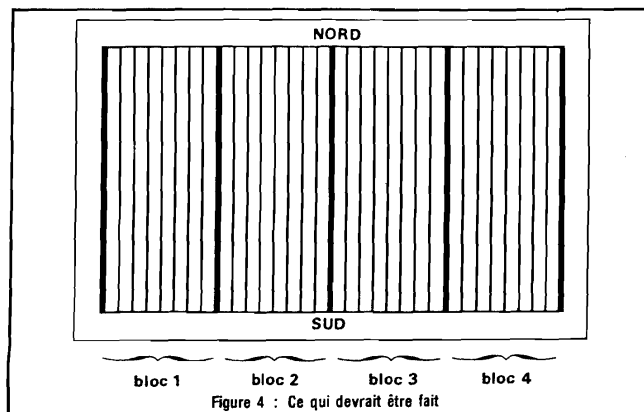
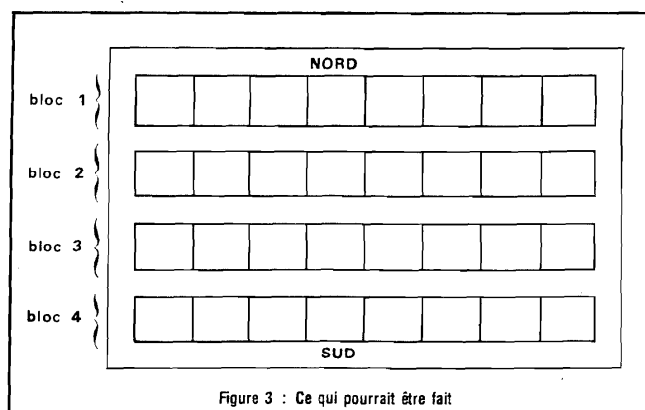
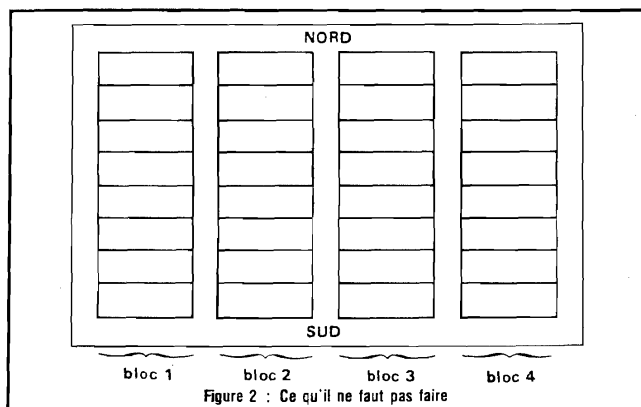
5) les erreurs de mesure, d'égales variances, ne seront pas liées entre elles : les relevés devront être exécutés avec les mêmes techniques ; leur précision ne sera pas modifiée selon l'ordre de grandeur des quantités à estimer.

Toutes ces hypothèses, indispensables pour obtenir des résultats d'essai justes (sans biais) et précis (dispersions faibles), peuvent paraître

complexes pour le profane et évidentes pour l'expérimentateur averti. Mais si on examine en détail ce qu'elles sous-entendent, on constate que dans le cas, pourtant apparemment simple, des essais de variétés de céréales à paille, il est parfois bien diffi-

cile de savoir si elles sont correctement respectées. De plus, si ce n'est pas le cas, les solutions pour résoudre les problèmes qu'elles posent ne sont pas toujours évidentes... et réalistes ! Voici quelques uns de ces problèmes :





## CHOIX DU PLAN D'ESSAI

Nous ne développerons pas la théorie des "blocs" de R.A. FISHER, bien connue des Agriculteurs qui visitent les essais et des Chercheurs qui les réalisent. Rappelons seulement la définition donnée par G. PHILIPPEAU (6)\* : "Un bloc, en expérimentation végétale, représente une bande de terrain homogène (découpée en m parcelles) sur laquelle on répartit (au hasard) l'ensemble des m variétés que l'on étudie. La fertilité du sol de cette bande doit être la même d'une extrémité à l'autre ; les façons culturales (labour, épandages d'azote, d'herbicides...) doivent y être réalisées, de manière à ne pas créer d'hétérogénéité".

Examinons maintenant le cas d'un champ qui aurait un gradient de fertilité orienté Nord-Sud (figure 1). Si on place un essai dans ce champ, plusieurs cas de figure sont possibles. Notons tout de suite que ce serait une grave erreur de disposer un essai selon la figure 2 car les parcelles, seraient très différentes à l'intérieur d'un même bloc.

Mais regardons plus particulièrement les deux dispositifs des figures 3 et 4 qui comportent 4 blocs et 8 parcelles par bloc. Ils tiennent compte de l'hétérogénéité du sol, mais le premier (fig. 3) la "contrôle" en plaçant un bloc par niveau de fertilité et le second (fig. 4) la "neutralise" en l'intégrant dans chaque parcelle élémentaire. Dans ces deux plans, des variétés semées sur les 8 parcelles de chaque bloc auraient toutes les chances d'être placées dans des conditions de milieu très semblables. Alors, quel schéma faudra-t-il choisir ?

Dans un récent document publié par le Département de Biométrie de l'I.N.R.A., P. MONESTIEZ (5) apporte des éléments de réponse à cette question. Il démontre que l'efficacité du plan de la figure 4 sera supérieure à celle du plan de la figure 3 et surtout que ce type de disposition des parcelles sera moins sensible à une erreur sur la direction du gradient (Nord Est-Sud-Ouest par exemple, au lieu de Nord-Sud). En 1946, J.A. MASSIBOT (4) avait déjà formulé cette idée. Par ailleurs, à partir des données d'essais méthodologiques réalisés sur la station de l'I.T.C.F. à Boigneville, P. THUEUX et F. VIDOGUE (9) ont

\* Ces chiffres renvoient au document indiqué sous ce numéro dans l'encadré "références bibliographiques" (page 41)

## Essais céréales

Modélisé les processus de champs de tendre en appliquant la théorie des variables régionalisées, puis simulé plusieurs plans d'essais. Ils sont parvenus à une conclusion similaire à celle de P. MONESTIEZ, et de plus ont montré que des parcelles de 1 m de large sur 15 m de long étaient plus efficaces que des parcelles de même largeur mais de 10 m de longueur seulement. Voilà des solutions positives au problème de la forme des blocs et de leur disposition sur le terrain : il est préférable de les constituer de parcelles très allongées et parallèlement au gradient de fertilité. Mais il ne faut pas conclure trop vite : les contraintes d'un autre ordre peuvent apparaître, telles que la compétition entre variétés voisines ou l'effet des allées et bordures entourant les parcelles ou les blocs.

## LES EFFETS DES BORDURES LATÉRALES ET DES ALLÉES FRONTALES

Les travaux expérimentaux sur ce sujet sont nombreux. Citons, entre autres, ceux rapportés par P. SOREAU (1) et F. LE COCHEC (3) sur betterave, par G.N. FICK et C.M. SWALERS (2) sur tournesol, ou plus par-

ticulièrement les essais de O.D. SMITH, R.A. KLEESE et D.D. STUTHMAN (7) ou de C. VARADY (10), qui ont étudié ces problèmes sur avoine et blé.

Toutes les conclusions de ces expériences ont un point commun : les rangs situés en bordure des parcelles ont des rendements supérieurs à ceux qui se trouvent à l'intérieur des parcelles. En revanche, les explications proposées par les auteurs sont très diverses et spécifiques des plantes étudiées. Mais, dans le cas des céréales à paille, l'hypothèse la plus fréquente est que l'espace laissé entre deux parcelles contiguës favorise le tallage des rangs de bordure d'où une plus grande productivité de ceux-ci. La figure 5 illustre ce phénomène. Ce ne serait pas très grave si on pouvait admettre que l'influence du tallage s'exprime de la même manière pour toutes les variétés. Ce n'est, bien sûr, pas le cas.

Comment remédier à cet effet des bordures ? Les solutions proposées ne sont pas toujours réalisables : ne pas récolter ces rangs latéraux entraînerait des modifications importantes des matériels expérimentaux de semis ou de battage. Il est impossible de réduire les écartements entre parcelles contiguës sans risquer des erreurs au moment des emblavements. Faut-il

alors corriger les rendements observés en fonction des estimations des facultés de tallage des variétés ? Comment ? Selon quelles règles ?

L'expérimentateur est là confronté à un problème, pour lequel il n'y a pas de solution pratique immédiate. Il est d'autant plus grave que P. THUEUX et F. VIDOGUE ont constaté, dans leurs essais, que les allées frontales avaient un effet, sur le niveau de rendement des cultures, similaire à celui des rangs de bordure. Ils ont alors condamné les surfaces parcellaires faibles (inférieures à 10 m<sup>2</sup>) qui risquent d'accorder trop d'importance à ces effets.

## CORRÉLATION ENTRE PARCELLES CONTIGÜES

Des raisons évidentes de mise en place et de dimension des champs expérimentaux imposent que, dans les essais de céréales, les variétés soient semées sur des parcelles adjacentes. F. LE COCHEC et P. SOREAU ont mis en évidence, sur betteraves, des effets dus au voisinage latéral de différentes variétés. Ils ont alors préconisé que les parcelles soient bordées par des "lignes tampon", sans pour autant être très affirmatifs sur l'efficacité d'une telle précaution. Lorsque des variétés de blé demi-nains ont été introduites dans les essais de l'I.T.C.F., J. de BOISSON (1) a prouvé que la variété COURTOT cultivée entre deux parcelles d'ÉTOILE DE CHOISY avait un rendement significativement inférieur (de près de 5 quintaux) à celui qu'elle donnait quand elle était semée entre deux parcelles de blé demi-nains. Dans les expériences mettant côte à côte des blés hauts et courts, on aurait donc tout intérêt à augmenter la surface des parcelles et à ne moissonner que la partie centrale pour éviter des erreurs d'appréciation dues au voisinage des variétés. Cette solution est identique à celle proposée pour éviter de récolter des rangs de bordure, mais elle se heurte aux mêmes inconvénients pratiques. Actuellement, pour atténuer l'effet de voisinage de variétés dont la morphologie serait très différente, on espère que des "compensations" s'opéreront entre blocs si, à l'intérieur de ceux-ci, les variétés sont réellement réparties au hasard entre les parcelles : la probabilité qu'une même variété soit affectée par la proximité d'une autre, plusieurs fois dans le même essai est alors réduite, et a fortiori lorsqu'on interprétera un regroupement de plusieurs essais.

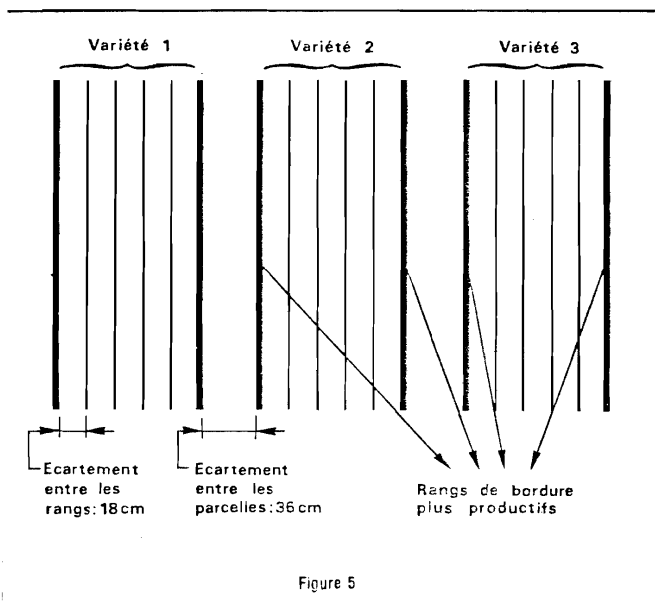


Figure 5

## LIGNES DE SEMIS MANQUANTES

Au cours de la mise en place d'un essai, il peut arriver qu'un soc du semoir soit bouché (par une motte de terre), ce qui empêche l'écoulement normal des grains sur tout ou partie de la longueur de la parcelle. Sur la station expérimentale de Boigneville, nous avons réalisé un essai (avec la variété d'orge ARAMIR, qui possède une assez bonne faculté de tallage), dans lequel nous avons simulé différentes possibilités de rangs manquants sur des parcelles unitaires de 12 m<sup>2</sup> (6 rangs de 10 m espacés de 20 cm). Les résultats estimés sur 16 répétitions, rapportés en détail dans le mémoire de P. THUEUX et F. VIDOGUE, sont les suivants (rendements ramenés en quintaux par hectare de 16 % d'humidité) :

- aucun rang manquant : 56,6
- un rang intérieur absent : 55,3
- un rang de bordure absent : 52,1

Donc, la disparition d'un rang dans une parcelle expérimentale, peut fausser complètement les conclusions d'un essai. Mais la position de la ligne est importante : Si c'est un rang intérieur qui manque, le biais n'est pas grave. En revanche, si c'est un rang de bordure, il est certainement préférable de ne pas prendre en compte le résultat de la parcelle, car une simple "règle de trois" pour corriger le rendement serait fautive.

Ces constatations résultent d'une seule expérience sur orge. Elles doivent être confirmées, bien que C. VARADY ait trouvé sur blé tendre des résultats très semblables.

## LE DOSAGE DE L'HUMIDITÉ DES GRAINS

Une imparfaite détermination de l'humidité des grains à la récolte peut provoquer des bouleversements assez considérables dans l'estimation des rendements réels des variétés, et par conséquent de leurs classements relatifs. Pour illustrer cette affirmation, voici un extrait de ce que nous avons trouvé dans une expérience sur des orges d'hiver (le détail des manipulations est décrit dans le mémoire de P. THUEUX et F. VIDOGUE).

A la récolte des 39 variétés d'un essai en petites parcelles (12 m<sup>2</sup>), avec 6 répétitions, on a dosé l'humidité des grains selon quatre méthodes :

- avec une étuve CHOPIN (17 heures à 130°C),

- à l'aide d'un appareil CERATESTER,

- avec une étuve "à fourrage" - modèle LEQUEUX,

- pendant 24 heures à 105°C,
- durant 48 heures à 105°C.

Nous avons ensuite corrigé les rendements bruts en fonction des teneurs en eau trouvées, puis classé les variétés par ordre décroissant de production. Ceci nous a montré que si on choisissait la méthode "étuve CHOPIN" comme référence :

- 22 variétés sur 39 auraient été mal classées si on n'avait pas corrigé leurs rendements en fonction de l'humidité de leurs grains. Par exemple, une variété qui occupait la 24<sup>e</sup> place (avec 62,3 q/ha) en rendement brut, se trouvait reléguée à la 38<sup>e</sup> (avec 56,2 q/ha) lorsque les rendements étaient ramenés à 16 % d'humidité,
- des corrections après dosage de l'eau au CERATESTER donnaient une proportion encore notable de variétés mal classées (13 sur 39),
- les déterminations des humidités avec l'étuve LEQUEUX conduisaient à des estimations correctes des rendements secs des variétés (4 mal classées sur 39, avec des écarts faibles).

On peut donc déduire que le dosage de l'eau des grains à la récolte d'un essai de variétés de céréales est indispensable. Malheureusement, les deux techniques fiables (étuve CHOPIN, 17 heures à 130°C - étuve LEQUEUX, 48 heures à 105°C) posent des problèmes d'équipement. Les matériels sont souvent onéreux. Ils ne sont pas utilisables au champ. Il faut par conséquent prendre beaucoup de précautions lors de la prise et pendant la conservation des échantillons de grain. Enfin, leur capacité relativement faible (60 à 80 échantillons maximum séchés, par 48 heures) risquent d'en limiter l'emploi.

## EN CONCLUSION

La conduite d'essais comparatifs de variétés de céréales à paille exige beaucoup de soin et de minutie. Elle ne peut se faire qu'en prenant un grand nombre de précautions pour éviter des biais dans les résultats, biais qui peuvent considérablement fausser les conclusions sur les valeurs relatives des variétés. Nous avons rappelé quelques sources d'erreur possibles : taille, forme des parcelles, effets des bordures, corrélations entre variétés voisines, rangs manquants, mauvaises estimations des teneurs en eau des grains... Il en existe certainement d'autres. Les expérimentateurs avertis connaissent bien ces imperfections et s'en souviennent

quand ils interprètent leurs essais, reste que les solutions pour réduire au maximum les erreurs exigent encore des recherches ou des adaptations. C'est un souci constant des chercheurs qui pensent, comme Claude BERNARD, que "dans l'investigation scientifique, les moindres procédés sont de la plus haute importance".

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) J. de BOISSON - "Contrôle méthodologique relatif à l'influence du micro-environnement sur les résultats d'essais blé en petites parcelles" - Note polycopiée I.T.C.F. - Zone Sud-Est - 1973.
- (2) G.N. FICK et C.M. SWALLERS - "Intercultivar competition in sunflower test plots" - Agronomy Journal - Vol. 67 - 1975.
- (3) F. LE COCQEC et P. SOREAU - "Influence du type de parcelle sur le classement des variétés dans les essais de betterave fourragère" - Sciences Agronomiques Rennes - 1976.
- (4) J.A. MASSIBOT - "La technique des essais culturaux et des études d'écologie agricole" - Edition Georges Frère - Tourcoing - 1946.
- (5) P. MONESTIEZ - "Optimisation d'un dispositif expérimental dans le plan" - Publication du Département de Biométrie de l'I.N.R.A. - 1977.
- (6) G. PHILIPPEAU - "Théorie des plans d'expérience - Application à l'agronomie" - Publication du Bureau d'Études Statistiques de l'I.T.C.F. - 1973.
- (7) O.D. SMITH, R.A. KLEESE et D.D. STUTHMAN - "Competition among oat varieties grown in hill plots" - Crop Science - Vol. 10 - 1970.
- (8) P. SOREAU - "Importance des effets de bordure dans les essais de betterave" - Sciences Agronomiques Rennes - 1976.
- (9) P. THUEUX et F. VIDOGUE - "Contribution à l'amélioration de la qualité des résultats d'essais en expérimentation céréalière" - Mémoire de fin d'études - I.S.A. de Lille - I.T.C.F. - 1977.
- (10) C. VARADY - "Effets de lignes manquantes sur des parcelles expérimentales de blé" - La recherche agronomique en Suisse - Fascicule 3/4 - Lausanne - 1969.



## 2 Carrés latins de base

### 2.1 Séries complètes de carrés latins de base

1	2	3
2	3	1
3	1	2

1	2	3	4
2	3	4	1
3	4	1	2
4	1	2	3

1	2	3	4
2	1	4	3
3	4	1	2
4	3	2	1

1	2	3	4
2	1	4	3
3	4	2	1
4	3	1	2

1	2	3	4
2	4	1	3
3	1	4	2
4	3	2	1

### 2.2 Exemples de carrés latins de base

1	2	3	4	5
2	3	4	5	1
3	4	5	1	2
4	5	1	2	3
5	1	2	3	4

1	2	3	4	5
2	3	5	1	4
3	4	2	5	1
4	5	1	3	2
5	1	4	2	3

1	2	3	4	5
2	1	5	3	4
3	5	4	1	2
4	3	2	5	1
5	4	1	2	3

1	2	3	4	5
2	5	4	1	3
3	1	2	5	4
4	3	5	2	1
5	4	1	3	2

1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	1
3	4	5	6	1	2
4	5	6	1	2	3
5	6	1	2	3	4
6	1	2	3	4	5

1	2	3	4	5	6
2	3	6	5	1	4
3	6	2	1	4	5
4	5	1	2	6	3
5	1	4	6	3	2
6	4	5	3	2	1

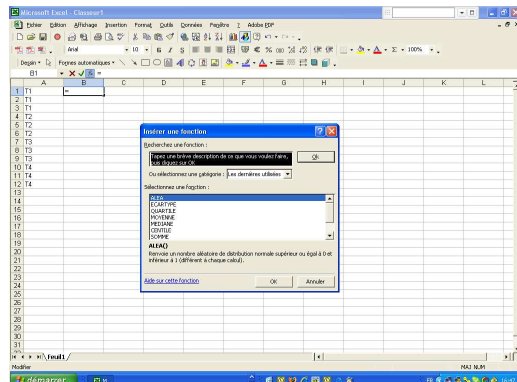
1	2	3	4	5	6
2	3	1	6	4	5
3	1	2	5	6	4
4	6	5	2	1	3
5	4	6	1	3	2
6	5	4	3	2	1

1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	1
3	4	5	6	7	1	2
4	5	6	7	1	2	3
5	6	7	1	2	3	4
6	7	1	2	3	4	5
7	1	2	3	4	5	6

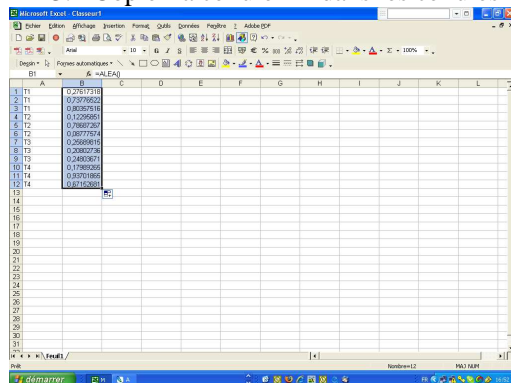
1	2	3	4	5	6	7	8
2	3	4	5	6	7	8	1
3	4	5	6	7	8	1	2
4	5	6	7	8	1	2	3
5	6	7	8	1	2	3	4
6	7	8	1	2	3	4	5
7	8	1	2	3	4	5	6
8	1	2	3	4	5	6	7

### Annexe 3 : Comment tirer au hasard l'emplacement des traitements d'un dispositif à l'aide d'Excel :

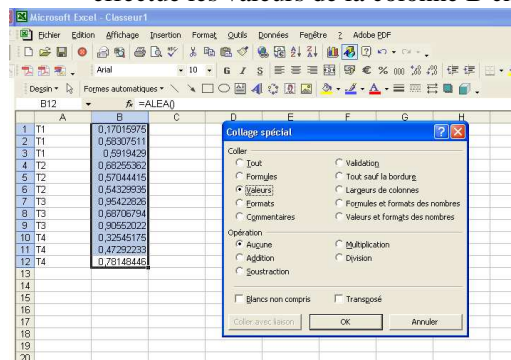
1. Lister chaque traitement un en dessous de l'autre dans la colonne A. Répéter chaque traitement autant de fois qu'il y a de répétition (ici 3 répétitions par traitement).
2. Insérer des chiffre tirés au hasard dans la colonne B à l'aide de la fonction « insertion>fonction>alea »



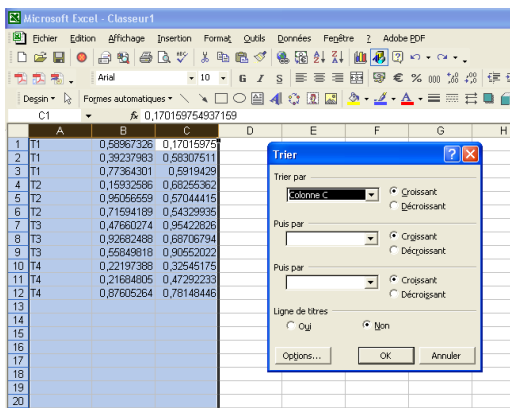
3. Copier la cellule B1 dans les cellules B2 à B12



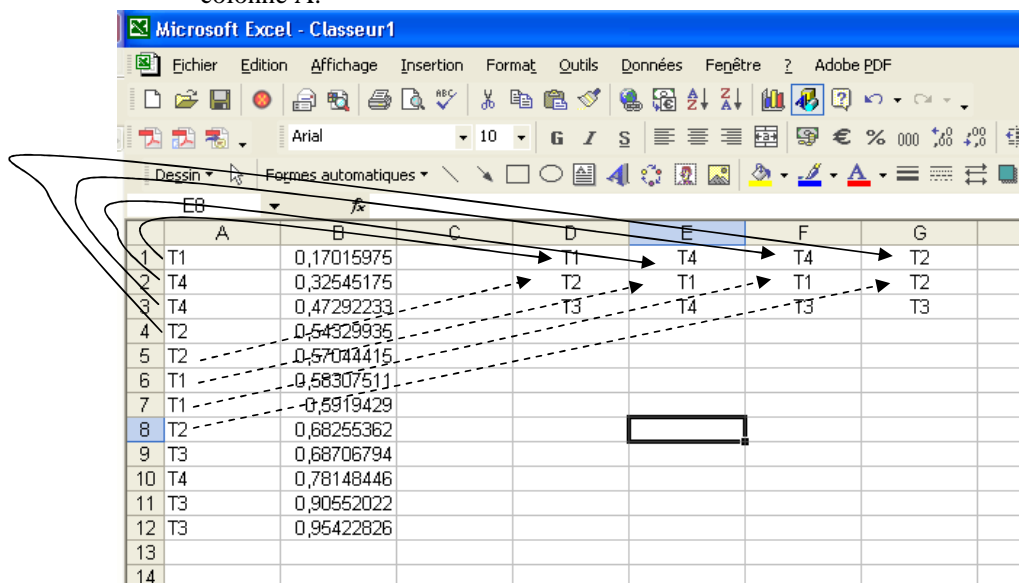
4. Copier les valeurs de la colonne B dans la colonne C à l'aide de la fonction « édition>collage spécial>coller valeur ». Vous remarquerez qu'une fois le collage effectué les valeurs de la colonne B changent.



5. Effectuer un tri avec « données>trier » en choisissant la colonne C où les chiffres ont été collés



6. Supprimer la colonne B qui contient les formules et ne sert plus à rien.
7. Choisir de répartir les traitements suivant un ordre bien précis. Par exemple ici on décide de remplir le plan en allant de la cellule en haut à gauche vers la cellule en bas à droite. On va donc y placer les traitements dans l'ordre où ils apparaissent dans la colonne A.



8. Ici le résultat final n'est pas totalement satisfaisant puisque tous les traitements T3 sont sur la ligne « du bas ». Il faut donc recommencer le tirage depuis le début jusqu'à obtenir une disposition plus satisfaisante (tel que dans l'exemple du chapitre 2.1)